

تحلیل تغییرات زمانی رویدادهای گردوغبار و تعیین سهم عوامل اقلیمی مؤثر بر آن در مناطق خشک بر اساس تحلیل رگرسیون ريج (مطالعه موردی: شهر یزد)

زهره ابراهیمی خوسفی^{۱*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۳)

چکیده

هدف از مطالعه حاضر تحلیل تغییرات زمانی پدیده گردوغبار و بررسی میزان ارتباط آن با عناصر اقلیمی در شهرستان یزد است که در نزدیکی یکی از کانون‌های بحرانی تولید گردوغبار در مرکز ایران واقع شده است. بدین منظور، ابتدا شاخص توفان گردوغبار محاسبه شد. پس از استانداردسازی داده‌های بارندگی، دما، حداکثر سرعت وزش بادهای، سرعت متوسط وزش بادهای، رطوبت نسبی و شاخص توفان گردوغبار، اثر هم‌خطی بین متغیرها با استفاده از فاکتور تورم واریانس محاسبه شد. سپس مدل‌های رگرسیونی متعددی بر اساس پارامتر بهینه ريج تهیه شدند. عملکرد مدل‌ها بر اساس ضریب تبیین، مقدار F و خطای جذر میانگین مربعات مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از دقیق‌ترین مدل، نقش پارامترهای اقلیمی بر تغییر رخدادهای گردوغبار تعیین شد. نتایج نشان داد که فراوانی وقوع رخدادهای گردوغبار در فصل بهار بیشتر از بقیه ایام سال بوده است. بر اساس مدل بهینه (مدل شماره ۱۲) مشخص شد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییر شاخص توفان گردوغبار در فصل‌های مختلف، سرعت متوسط وزش بادهای سطحی بوده است. همچنین نشان داده شد که به ترتیب ۳۹، ۲۵، ۴۶ و ۳۱ درصد تغییرات شاخص توفان گردوغبار در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به دلیل اثر متقابل پنج پارامتر اقلیمی مورد بررسی در تحقیق حاضر بوده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص توفان گردوغبار، رگرسیون ريج، منطقه خشک، یزد

۱- گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: zohrebrahimi2018@ujroft.ac.ir

مقدمه

فرسایش بادی و وقوع توفان‌های گردوغبار از علل اصلی آلودگی هوا در مناطق خشک جهان و به‌ویژه در ایران به‌شمار می‌روند (۱۴). منشأ وقوع بسیاری از این رویدادها، بیابان‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هستند. یکی از استان‌های بیابانی ایران که هر ساله خسارات اجتماعی و اقتصادی زیادی را از این پدیده متحمل می‌شود، استان یزد است که ۴۴/۵ درصد سطح آن را مناطق بیابانی، ۵۱ درصد را مناطق نیمه‌بیابانی و ۴/۵ درصد آن را مناطق غیربیابانی دربرگرفته است (۳). تغییر فعالیت زمانی و مکانی رویدادهای مختلف گردوغبار به عوامل متعدد اقلیمی و زمینی بستگی دارد (۷، ۹ و ۱۳). بنابراین درک روند تغییرات زمانی و مکانی این گونه رخدادها و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌طور کلی و با توجه به اثرات تغییر اقلیم بر محیط زیست، کیفیت هوا، سلامت انسان‌ها، کشاورزی و ...، الگوهای رفتاری متغیرهای اقلیمی روی پدیده گردوغبار در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، بر اساس رویکردهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، رضازاده و همکاران (۱۵) بر اساس تحلیل مکانی انواع رویدادهای گردوغبار در خاورمیانه، پاکستان را به‌عنوان غبارآلودترین منطقه خاورمیانه معرفی کرده‌اند. تغییر در سرعت بادهای سطحی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین علل وقوع چنین وقایعی در خاورمیانه معرفی شده است. اولینگ‌سای و همکاران (۱۲)، از شاخص توفان گردوغبار (Dust Storm Index) به‌منظور ارزیابی فرسایش بادی در استرالیا برای بازه زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ استفاده کردند. آنها همچنین همبستگی بین DSI و گردوغبار جمع‌آوری شده در ۱۱۰ ایستگاه هواشناسی را بیش از ۹۳ درصد تخمین زدند. کاهش رطوبت نسبی و بارندگی و افزایش درجه حرارت از علل اصلی افزایش غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرومتر در هوای شهر مکه و عربستان سعودی توسط مونییر (۱۰) گزارش شده است. تغییر درجه حرارت هوای بین دریای مدیترانه و

بیابان‌های سیریان، علت اصلی تغییر فعالیت توفان‌های گردوغبار سال ۲۰۰۹ در نیمه غربی ایران، بوده است (۲). علل اصلی افزایش روند بیابان‌زایی و افزایش وقوع پدیده فرسایش بادی در استان تهران، کاهش پوشش گیاهی و افزایش درجه حرارت هوا عنوان شده است (۶). در بررسی ارتباط بین شاخص اپتیکی آئروسول‌ها (Aerosol Optical Depth) و پارامترهای اقلیمی در خاورمیانه مشخص شد که افزایش دما و کاهش بارندگی از علل اصلی کاهش رویدادهای گردوغبار در خاورمیانه بوده است (۱۱). ولی و روستایی (۱۸) با استفاده از شاخص توفان گردوغبار شدید پدیده فرسایش بادی در ایران مرکزی را برای ۳۰ سال اخیر به اثبات رساندند. علی‌پور و همکاران (۱) بر اساس تحلیل سینوپتیکی وقایع گردوغبار و ارتباط آن با خشکسالی در استان‌های قزوین و البرز نشان دادند که در مقیاس سالانه، گردوغبارهای با کد ۶ و ۷ بیشترین فراوانی را در این دو ایستگاه داشته است. بیشترین فراوانی رخدادهای گردوغبار ماهانه متعلق به ماه‌های می و ژوئن بوده است. بررسی ارتباط میان خشکسالی و فراوانی روزهای همراه با گردوغبار نشان داد که در ایستگاه کرج همبستگی معنی‌داری بین این دو پدیده وجود نداشته اما در ایستگاه قزوین، در سطح ۱۰ درصد آماری معنی‌دار بوده است.

بررسی مطالعات گذشته حاکی از تأثیر بیشتر پارامترهای اقلیمی نسبت به عوامل زمینی، در تغییر میزان فعالیت رخدادهای گردوغبار مناطق اقلیمی مختلف است. لذا نظر به اینکه مناسب‌ترین شاخص معرف شدت و فراوانی چنین وقایعی، شاخص توفان گردوغبار است (۱۲) و تاکنون ارتباط آن با تغییرات اقلیمی به‌ویژه در شهرستان یزد که در نزدیکی کانون بحرانی تولید گردوغبار این استان قرار دارد، مورد توجه قرار نگرفته است؛ در این پژوهش سعی شد ارتباط رخدادهای گردوغبار و عناصر اقلیمی مهم در شهرستان یزد با استفاده از این شاخص و با به‌کارگیری تحلیل رگرسیون ریبج مورد بررسی قرار گیرد. گفتنی است که در بسیاری از پژوهش‌ها، از رگرسیون چندگانه معمولی به‌منظور تحلیل ارتباط متغیرهای

ریج و ۴) آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیونی. توضیحات مربوط به هر مرحله در ادامه ارائه شده است.

محاسبه شاخص DSI

برای محاسبه شاخص DSI، ابتدا باید تعداد رویدادهای مختلف گردوغبار (محلی، متوسط و شدید) محاسبه شوند. در مطالعه حاضر، داده‌های ساعتی مربوط به این رویدادها همراه با میدان دید افقی و سرعت وزش بادها در هنگام وقوع این وقایع برای ایستگاه سینوپتیک یزد از سازمان هواشناسی استان یزد دریافت شد. به‌طور کلی، ۱۰۰ کد هواشناسی (۹۹-۰۰) توسط سازمان جهانی هواشناسی برای پدیده‌های مختلف تعریف شده است که ۱۱ مورد آن مربوط به پدیده گردوغبار است (جدول ۱). پس از دریافت داده‌های مورد نیاز، تعداد رویدادهای محلی، متوسط و شدید بر اساس حداکثر کد ثبت شده روزانه طی هشت بار دیده‌بانی محاسبه شد. در نهایت، شاخص DSI ماهیانه برای تمام سال‌های آماری مورد بررسی بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد (۱۲):

$$DSI = (5 \times SDS) + MDS + \left(\frac{LDE}{20}\right) \quad (1)$$

که در این رابطه، SDS، MDS و LDE به ترتیب تعداد روزهای همراه با توفان‌های گردوغبار شدید، متوسط و محلی با حداکثر کد روزانه (۳۳ تا ۳۵)، (۳۰ تا ۳۲ و ۹۸) و (۷ تا ۹) هستند.

استانداردسازی داده‌ها

برای تعیین نقش عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییرات شاخص توفان گردوغبار در منطقه مطالعاتی، از روش رگرسیون ريج استفاده شد. لازمه استفاده از این روش، استانداردسازی متغیرهای وابسته و مستقل است. بدین منظور از رابطه (۲) برای استانداردسازی متغیرها استفاده شد:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma} \quad (2)$$

در این رابطه، X_{ij} ، \bar{X}_j و σ به ترتیب بیانگر مقادیر مربوط به متغیر مشاهداتی، میانگین و انحراف معیار آنها در بازه زمانی مورد بررسی هستند.

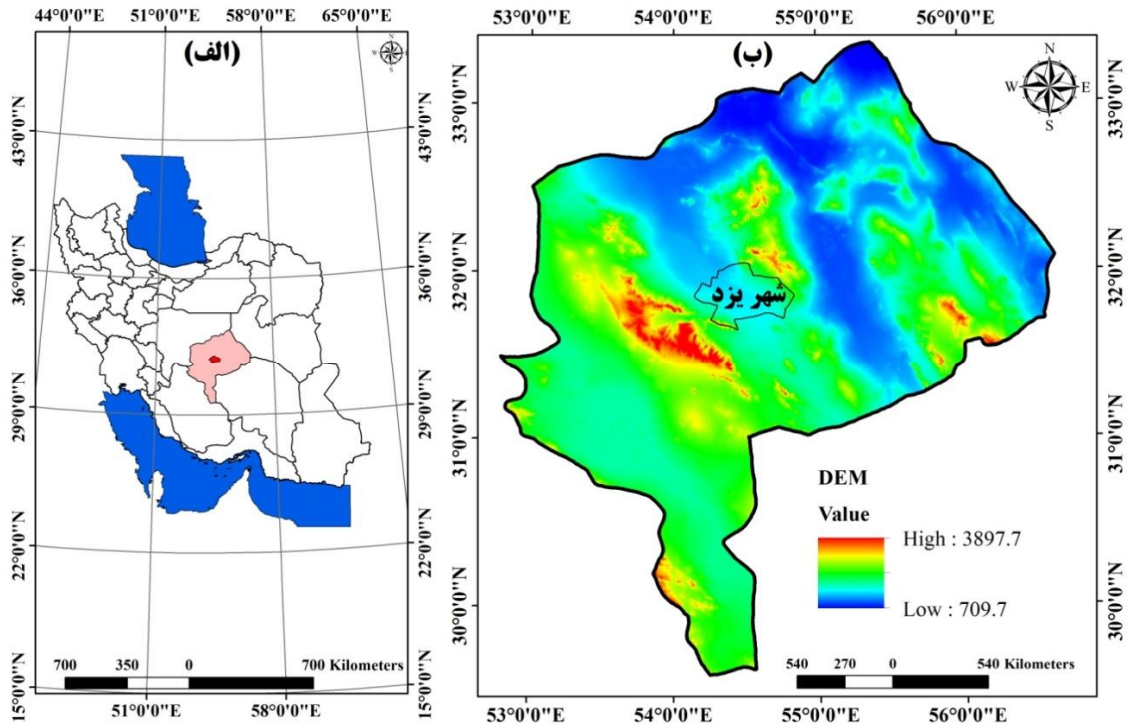
هواشناسی و فراوانی رویدادهای مختلف گردوغبار استفاده شده است. در مدل‌های نهایی مربوط به این روش‌ها، اغلب پارامترهایی وارد مدل نهایی می‌شوند که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند و چنانچه بین متغیرهای مستقل، اثر هم‌خطی وجود داشته باشد، آن را تعدیل و یا حذف نمی‌کند. لذا ضریب تعیین مدل‌های نهایی به‌ویژه زمانی که این اثر شدید باشد، ضریبی غیرواقعی خواهد بود. درحالی‌که، رگرسیون ريج با در نظر گرفتن اثر تمامی پارامترهای مستقل تأثیرگذار و تعدیل اثر هم‌خطی بین آنها، ارتباط و میزان وابستگی بین متغیر وابسته با متغیرهای مستقل را با ضریب اطمینان بالاتری نشان می‌دهد. از این‌رو، در این پژوهش علاوه بر تحلیل زمانی رویدادهای گردوغبار در شهرستان یزد، از این روش به‌منظور تعیین اثرگذاری هر یک از پارامترهای اقلیمی (متوسط دما، بارندگی، حداکثر سرعت باد، متوسط سرعت باد و رطوبت نسبی) با شاخص توفان گردوغبار برای بازه زمانی ۱۵ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) استفاده شد که جنبه نوآوری این مطالعه در همین موضوع است.

معرفی منطقه مورد بررسی

شهرستان یزد در قسمت مرکزی فلات ایران واقع شده است. مساحت منطقه مطالعاتی معادل ۲۳۹۷ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی ۵۳° تا ۵۶° درجه طول شرقی و ۳۱° ۴۵' تا ۳۲° ۱۰' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). میانگین سرعت باد غالب در این منطقه، ۲۱ متر بر ثانیه و در وزش‌های شدید به ۹۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد. ارتفاع متوسط منطقه ۱۲۱۶ متر از سطح دریا است. بر اساس داده‌های ۱۵ساله ایستگاه سینوپتیک یزد (۲۰۱۴-۲۰۰۰)، میانگین بارندگی، دمای متوسط و رطوبت نسبی در این بازه زمانی به ترتیب، ۶۷/۷ میلی‌متر، ۱۹/۹ و ۲۷ درصد است.

روش تحقیق

مراحل کلی انجام تحقیق حاضر عبارت است از: (۱) محاسبه شاخص DSI، (۲) استانداردسازی داده‌ها، (۳) تحلیل رگرسیون



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در: الف) ایران و استان یزد و ب) روی نقشه مدل رقمی ارتفاع

جدول ۱. کدهای تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بیان پدیده گردوغبار

توضیحات	نام علمی	کد هواشناسی
گردوغبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است.	گردوغبار معلق	۰۶
گردوغبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است.	گردوخاک	۰۷
گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن	گردباد	۰۸
گرد و خاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است.	توفان	۰۹
طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه ملایم	۳۰
طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه ملایم	۳۱
طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه ملایم	۳۲
طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه شدید	۳۳
طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه شدید	۳۴
طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه شدید	۳۵
توفان‌هایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	توفان گردوغبار یا ماسه خیلی شدید یا تندر	۹۸

جدی است که منجر به افزایش کاذب ضریب همبستگی

مدل‌های خروجی می‌شود و این می‌تواند با وجود افزایش ضریب

تحلیل رگرسیون ریج

وجود وابستگی خطی نزدیک بین متغیرهای مستقل، مسئله‌ای

$$R^2 = \frac{\sum_i^n (Q_{O_i} - \bar{Q}_O)(Q_{E_i} - \bar{Q}_E)^2}{\sum_i^n (Q_{O_i} - \bar{Q}_O)^2 \sum_i^n (Q_{E_i} - \bar{Q}_E)^2} \quad (6)$$

در روابط گفته شده، N بیانگر تعداد مشاهدات، Q_O مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته، Q_E مقدار تخمینی متغیر وابسته، \bar{Q}_O میانگین مقادیر مشاهده‌ای متغیر وابسته در طول بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۰۰-۲۰۱۴) است.

نتایج

تعداد کل وقایع سالانه مربوط به گردوغبار محلی، متوسط و شدید ایستگاه سینوپتیک یزد و مقادیر سالانه شاخص توفان گردوغبار مربوط به آن به ترتیب در جدول (۲) و شکل (۲) نشان داده شده است. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریج با استفاده از داده‌های استاندارد وابسته و مستقل برای هر یک از فصل‌های سال نیز در جدول‌های (۳ تا ۶) ارائه شده است.

بحث

نتایج مندرج در جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین تعداد رخداد‌های گردوغبار محلی ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک یزد در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۹ و کمترین آن در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ به ثبت رسیده است. با وجود پایین بودن تعداد وقایع گردوغبار محلی در سال‌های ابتدایی به‌ویژه در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱، تعداد دو رخداد متوسط توفان شن برای این سال‌ها و تعداد چهار توفان شدید شن برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ گزارش شده است. اگر چه تعداد رویدادهای محلی ثبت شده در این سال‌ها به نسبت بالاست اما علت اصلی افزایش قابل توجه شاخص توفان گردوغبار سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴، پنج برابر بودن تأثیر رخداد‌های شدید نسبت به رخداد‌های محلی در برآورد این شاخص است. این نتیجه تشدید پدیده بیابان‌زایی ناشی از فرسایش بادی و افزایش انتشار ذرات معلق ناشی از

همبستگی، دقت مدل‌های خروجی را کاهش دهد. برای شناسایی این اثر، روش‌های متعددی وجود دارد که مهم‌ترین آن ضریب تورم واریانس (Variance Inflation Factor) است (۴)، (۱۶ و ۱۷). لذا در این تحقیق، از این ضریب به‌منظور تعیین وجود و یا عدم وجود اثر هم‌خطی بین متغیرها استفاده شد (رابطه ۳).

$$VIF_K = (1 - R_K^2)^{-1} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، R_K^2 مقدار ضریب تعیین چندگانه بین متغیرهاست زمانی که متغیر X را روی سایر متغیرها برگشت دهیم. مقادیر بزرگ‌تر از یک VIF، بیانگر وجود اثر هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است که بایستی اثر آن در مدل‌سازی، تعدیل و یا حذف شود. بدین منظور می‌توان از روش رگرسیون ریج (۸) استفاده کرد. الگوریتم محاسباتی این روش بر مبنای حذف اثر هم‌خطی بین متغیرهای مستقل و ارائه دقیق‌ترین مدل تخمین‌گر است. به‌همین دلیل نسبت به مدل‌های رگرسیون چندگانه، کارایی بیشتری دارد و بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\beta^*(k) = (X'X + kI)^{-1} X'Y \quad (4)$$

در این معادله، I ماتریسی واحد به ابعاد P*P، $\beta^*(k)$ برآورد کننده ریج و K پارامتر ریج است که مقدار این ضریب بین صفر تا یک متغیر است و باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که برآورد‌های به‌نسبت پایداری برای پارامتر ریج حاصل شود. $X'Y$ بردار همبستگی متغیر پیش‌بینی کننده و $X'X$ ترانزاده ماتریس X است.

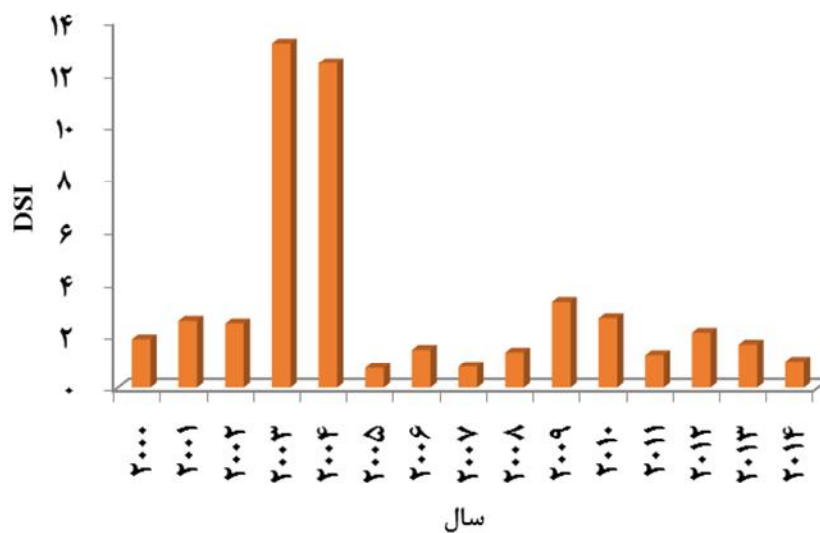
آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به‌منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های محاسبه شده بر اساس ضرایب مختلف پارامتر ریج، از چهار معیار مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه ۵)، ضریب تعیین (رابطه ۶)، آماره F و سطح معنی‌داری مدل‌ها استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{O_i} - Q_{E_i})^2}{N}} \quad (5)$$

جدول ۲. تعداد وقایع سالانه گردوغبار محلی، متوسط و شدید منطقه مطالعاتی در بازه زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۴)

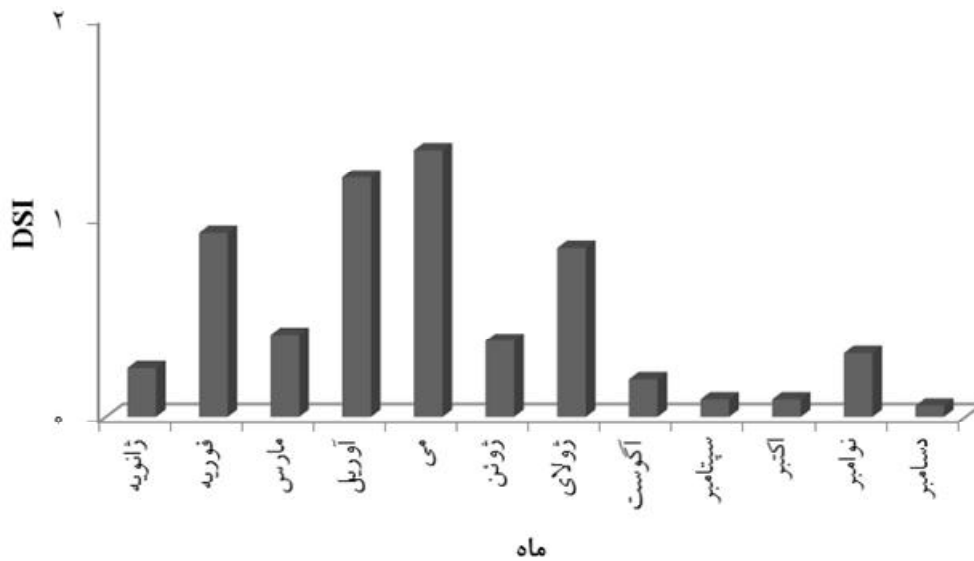
سال	LDE	MDS	SDS
۲۰۰۰	۱۷	۱	۰
۲۰۰۱	۳۱	۱	۰
۲۰۰۲	۴۹	۰	۰
۲۰۰۳	۴۳	۱	۲
۲۰۰۴	۲۸	۱	۲
۲۰۰۵	۱۵	۰	۰
۲۰۰۶	۲۹	۰	۰
۲۰۰۷	۱۶	۰	۰
۲۰۰۸	۲۷	۰	۰
۲۰۰۹	۴۶	۱	۰
۲۰۱۰	۳۳	۱	۰
۲۰۱۱	۲۵	۰	۰
۲۰۱۲	۴۲	۰	۰
۲۰۱۳	۳۳	۰	۰
۲۰۱۴	۲۰	۰	۰



شکل ۲. مقادیر سالانه شاخص توفان گردوغبار ایستگاه سینوپتیک یزد طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۴

بیشترین فعالیت توفان‌های شن و گردوغبار در ماه‌های می (DSI=۱/۳۴) و آوریل (DSI=۱/۲) و کمترین میزان فعالیت این رویدادها در ماه‌های دسامبر (DSI=۰/۰۶) و اکتبر

این پدیده را در این سال‌ها نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ماهیانه (شکل ۳)، مقادیر متوسط شاخص توفان گردوغبار بین ۰/۰۶ تا ۱/۳۴ متغیر بوده است. در بازه زمانی مورد بررسی،



شکل ۳. مقادیر متوسط ماهانه شاخص توفان گردوغبار ایستگاه سینوپتیک یزد طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۴

جدول ۳. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریب بر اساس داده‌های ماهیانه فصل زمستان

شماره مدل	K	C1	C2	C3	C4	C5	C0	R ²	RMSE	F	P-value
۱	۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۱۹	۰/۰۶۸	۰/۰۰۰۰۰۵	-۰/۹۸	۰/۳۲	۰/۷۲	۳/۸	۰/۰۰۶
۲	۰/۹	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۲	۰/۲	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰۰۰۸	-۱/۰۳	۰/۳۳	۰/۷۱	۳/۹	۰/۰۰۵۸
۳	۰/۸	-۰/۰۱۴	-۰/۰۰۲	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۰۰۰۱	-۱/۱	۰/۳۴	۰/۷۱	۳/۹	۰/۰۰۵۱
۴	۰/۷	-۰/۰۱۶	-۰/۰۰۲	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۲	-۱/۱۶	۰/۳۴	۰/۷	۴/۰۸	۰/۰۰۴۵
۵	۰/۶	-۰/۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۲	-۱/۲	۰/۳۴	۰/۷	۴/۱۸	۰/۰۰۳۹
۶	۰/۵	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۰۰۰۲	-۱/۳	۰/۳۵	۰/۶۹	۴/۲۸	۰/۰۰۳۴
۷	۰/۴	-۰/۰۲۶	-۰/۰۰۲	۰/۲۳	۰/۱	۰/۰۰۰۰۱	-۱/۳	۰/۳۶	۰/۶۹	۴/۴	۰/۰۰۲۹
۸	۰/۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	۰/۲۳	۰/۱۱	-۰/۰۰۰۰۳	-۱/۴۶	۰/۳۶	۰/۶۸	۴/۵	۰/۰۰۲۴
۹	۰/۲	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۰۰۶	۰/۲۳	۱/۲	-۰/۰۰۰۰۱	-۱/۵	۰/۳۷	۰/۶۷	۴/۶	۰/۰۰۰۲
۱۰	۰/۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۰۰۱	۰/۲۱	۰/۱۴	-۰/۰۰۰۰۴	-۱/۴	۰/۳۸	۰/۶۶	۴/۸	۰/۰۰۱۶
۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۷	۰/۱۳	۰/۱۷	-۰/۰۰۱۶	-۰/۸۳	۰/۳۹	۰/۶۶	۵/۰۲	۰/۰۰۱۲
۱۲	۰/۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۹	۰/۱	۰/۱۸	-۰/۰۰۱۹	-۰/۶۶	۰/۳۹	۰/۶۵	۵/۰۲	۰/۰۰۱۲

C0* عرض از مبدا و C1، C2، C3، C4 و C5 به ترتیب ضرایب رگرسیونی مربوط به پارامتر دمای متوسط، بارندگی، سرعت متوسط بادهای سطحی، حداکثر سرعت باد و رطوبت نسبی هستند.

جدول ۴. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریبج بر اساس داده‌های ماهیانه فصل بهار

P-value	F	RMSE	R ²	C0	C5	C4	C3	C2	C1	K	شماره مدل
۰/۰۵۸	۲/۳۵	۱/۱	۰/۲۳	-۱/۷۵	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳	۰/۷۲	۰/۰۴۶	-۰/۰۲	۱	۱
۰/۰۵۷	۲/۳۷	۱/۱	۰/۲۳	-۱/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۹	۲
۰/۰۵۵	۲/۳۹	۱/۱	۰/۲۳	-۲/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۸۱	۰/۰۵	-۰/۰۲۲	۰/۸	۳
۰/۰۵۳	۲/۴۱	۱/۰۹	۰/۲۳	-۲/۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۵	۰/۸۶	۰/۰۵۴	-۰/۰۲۳	۰/۷	۴
۰/۰۵۱	۲/۴۳	۱/۰۹	۰/۲۴	-۲/۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۳	۰/۰۵۸	-۰/۰۲۵	۰/۶	۵
۰/۰۴۹	۲/۴۶	۱/۰۹	۰/۲۴	-۲/۵	۰/۰۱	۰/۰۲۶	۱/۰۱	۰/۰۶۳	-۰/۰۲۷	۰/۵	۶
۰/۰۴۷	۲/۴۹	۱/۰۸	۰/۲۴	-۲/۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۱/۱	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۴	۷
۰/۰۴۷	۲/۴۹	۱/۰۸	۰/۲۴	-۲/۷	۰/۰۰۸	۰/۰۲۷	۱/۱	۰/۰۶۸	-۰/۰۳	۰/۳	۸
۰/۰۴۵	۲/۵۲	۱/۰۸	۰/۲۴	-۲/۸	۰/۰۰۵	۰/۰۲۷	۱/۲	۰/۰۷	-۰/۰۳۵	۰/۲	۹
۰/۰۴	۲/۵۶	۱/۰۷	۰/۲۵	-۲/۹	-۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۱/۳	۰/۰۸	-۰/۰۴۵	۰/۱	۱۰
۰/۰۳۹	۲/۶۱	۱/۰۷	۰/۲۵	-۲/۶	-۰/۰۲	۰/۰۲۵	۱/۶	۰/۱۱	-۰/۰۶	۰/۰۱	۱۱
۰/۰۳	۲/۶۲	۱/۰۵	۰/۲۵	-۲/۴	-۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۱/۶	۰/۱۱	-۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۰۱	۱۲

جدول ۵. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریبج بر اساس داده‌های ماهیانه فصل تابستان

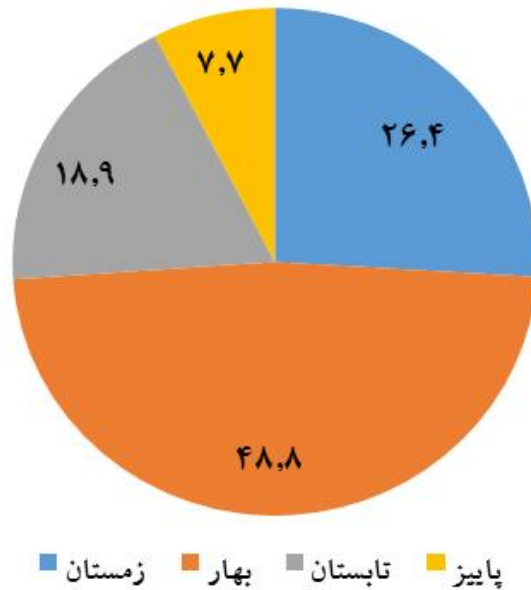
P-value	F	RMSE	R ²	C0	C5	C4	C3	C1	K	شماره مدل
۰/۰۰۰۲	۶/۵	۰/۶۵	۰/۴۵	-۱/۳۴	۰/۰۴۸	۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۰۰۲۱	۱	۱
۰/۰۰۰۲	۶/۵۸	۰/۶۴	۰/۴۵	-۱/۳۸	۰/۰۵	۰/۰۵۳	۰/۱۴	-۰/۰۰۱	۰/۹	۲
۰/۰۰۰۲	۶/۵۹	۰/۶۴	۰/۴۶	-۱/۴	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۱۵	-۰/۰۰۲	۰/۸	۳
۰/۰۰۰۲	۶/۶۱	۰/۶۳	۰/۴۶	-۱/۴۷	۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۸	۰/۱۶	-۰/۰۰۳	۰/۷	۴
۰/۰۰۰۱	۶/۶۳	۰/۶۳	۰/۴۵	-۱/۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۰۰۴	۰/۶	۵
۰/۰۰۰۱	۶/۶۴	۰/۶۲	۰/۴۶	-۱/۵	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۰/۱۸	-۰/۰۰۶	۰/۵	۶
۰/۰۰۰۱	۶/۶	۰/۶۲	۰/۴۶	-۱/۵۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۱۹	-۰/۰۰۸	۰/۴	۷
۰/۰۰۰۱	۶/۶۹	۰/۶۱	۰/۴۶	-۱/۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۲۱	-۰/۰۱۱	۰/۳	۸
۰/۰۰۰۱	۶/۷	۰/۶۱	۰/۴۶	-۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۲۳	-۰/۰۱۵	۰/۲	۹
۰/۰۰۰۱	۶/۷	۰/۶	۰/۴۶	-۱/۵۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۲۷	-۰/۰۲	۰/۱	۱۰
۰/۰۰۰۱	۶/۷	۰/۶	۰/۴۶	-۱/۳۲	۰/۰۵۴	۰/۰۸	۰/۳۳	-۰/۰۳	۰/۰۱	۱۱
۰/۰۰۰۰	۶/۸	۰/۵۸	۰/۴۶	-۱/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۳۴	-۰/۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۱۲

جدول ۶. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریح بر اساس داده‌های ماهیانه فصل پاییز

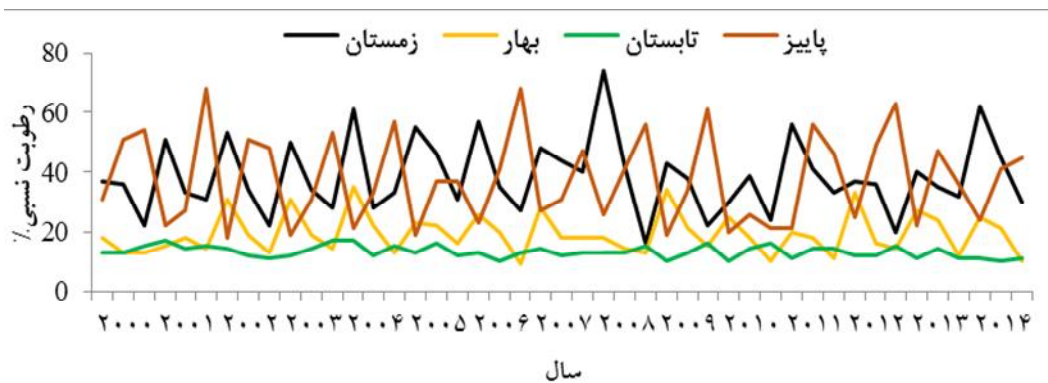
شماره مدل	K	C1	C2	C3	C4	C5	C0	R ²	RMSE	F	P-value
۱	۱	-۰/۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۱	۰/۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۰۰۷	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۱	۳/۲	۰/۰۱
۲	۰/۹	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۰۰۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۱	۳/۲	۰/۰۱۵
۳	۰/۸	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰/۱۱	۰/۰۱۸	-۰/۰۰۰۸	-۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۱	۳/۲	۰/۰۱۴
۴	۰/۷	-۰/۰۰۰۱۵	-۰/۰۰۰۱	۰/۱۲	۰/۰۱	-۰/۰۰۰۹	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۱	۳/۳	۰/۰۱۴
۵	۰/۶	-۰/۰۰۰۱۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۲	۰/۰۲	-۰/۰۰۰۹	-۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۴
۶	۰/۵	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۳	۰/۰۲۱	-۰/۰۰۰۱	-۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۴
۷	۰/۴	-۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۳	۰/۰۲۳	-۰/۰۰۰۱	-۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۱۹	۳/۳	۱۰/۰۱
۸	۰/۳	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۴	۰/۰۲	-۰/۰۰۰۱	-۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۳
۹	۰/۲	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۵	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۰۱	-۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۱۹	۳/۳	۰/۰۱۲
۱۰	۰/۱	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۵	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۰۲	-۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۱۹	۳/۴	۰/۰۱۲
۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۶	۰/۰۳	-۰/۰۰۰۳	-۰/۳	۰/۲۹	۰/۱۸	۳/۴	۰/۰۱۲
۱۲	۰/۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۲	۰/۱۶	۰/۰۳	-۰/۰۰۰۳	-۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۱۸	۳/۴	۰/۰۱۲

معکوس و ارتباط بین سرعت وزش بادهای با این شاخص در منطقه مطالعاتی، مثبت بوده است. ارتباط مثبت بین این دو متغیر، بیانگر آن است که افزایش شدت و فراوانی رویدادهای گردوغبار شهر یزد در این مدت به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییر سرعت وزش بادهای سطحی و غالب منطقه بوده است. در مقابل، ارتباط معکوس بین بارندگی و DSI حاکی از تأثیر نزولات جوی بر کاهش شدت و فراوانی وقوع پدیده فرسایش بادی و کاهش انتشار ذرات گردوغبار در منطقه مطالعاتی است. اثر مستقیم سرعت باد بر تشدید فعالیت رخدادهای گردوغبار و اثر معکوس بارندگی بر آن، در مطالعات اسکندری و همکاران (۶) و امان الهی و همکاران (۲) نیز گزارش شده است که مؤید نتایج تحقیق حاضر است. نتایج مندرج در جدول‌های (۳ تا ۶) نیز بیانگر آن است که تأثیر نوسانات رطوبت نسبی هوای شهر یزد بر شدت و یا ضعف رخدادهای گردوغبار در فصل‌های مختلف سال، یکسان نبوده است. به‌طوری که در ماه‌های فصل زمستان، بهار و پاییز، ارتباط بین شاخص DSI و رطوبت نسبی، منفی و در ماه‌های فصل تابستان، این ارتباط مثبت شده است.

(DSI=۰/۰۹) به وقوع پیوسته است. در مقیاس فصلی، ۴۸/۸۳ درصد رخدادهای گردوغبار در فصل بهار، ۲۶/۴۲ درصد در زمستان، ۱۸/۹ درصد در فصل تابستان و ۷/۶۹ درصد در فصل پاییز به وقوع پیوسته است (شکل ۴). این نتایج بیانگر آن است که شدت و فراوانی وقوع فرسایش بادی در فصل بهار بیشتر از سایر فصل‌های سال بوده است؛ اما آنچه حائز اهمیت است کمتر بودن شدت فعالیت این رخدادهای در فصل پاییز نسبت به فصل‌های زمستان و تابستان است. بررسی کلی جدول‌های (۶-۳) نشان می‌دهد که پارامتر بهینه ریح (k) در تمامی مدل‌های پیش‌بینی کننده شاخص توفان گردوغبار، ۰/۰۰۰۰۱ بوده است. زیرا در این حالت، مقادیر ضریب تعیین و آماره F و سطح معنی داری مدل‌ها به حداکثر مقدار خود رسیده است. همچنین مقدار RMSE نسبت به سایر مدل‌ها کاهش یافته است. لذا بهترین مدل تخمین‌گر شاخص فصلی توفان گردوغبار مربوط به مدل شماره (۱۲) است. ضرایب پارامترهای اقلیمی این مدل حاکی از آن است که ارتباط بین تغییرات بارندگی با شاخص مبین میزان فعالیت رخدادهای گردوغبار در فصل‌های زمستان و پاییز،



شکل ۴. توزیع فصلی شاخص توفان گرد و غبار ایستگاه سینوپتیک یزد طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۴



شکل ۵. مقادیر ماهیانه درصد رطوبت نسبی مربوط به فصول مختلف دوره آماری مورد بررسی

فصل‌های بهار، پاییز و زمستان به ترتیب بین ۳۴-۹، ۴۸-۲۰ و ۶۰-۲۰ درصد است (شکل ۵) و ارتباط معکوسی بین این پارامترها در این فصل‌ها برقرار شده است (جدول‌های ۴-۶)، می‌توان گفت نتایج تحقیق این پژوهشگران با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. به‌طور کلی، این نتایج نشان‌دهنده تغییرات پیچیده پارامترهای اقلیمی در مکان‌ها و زمان‌های مختلف است که برآیند آنها می‌تواند نوسانات رخدادهای زمینی از جمله شدت فرسایش بادی و میزان انتشار ذرات گردوغبار را تحت تأثیر قرار دهد. نکته حائز اهمیت میزان تأثیر هر یک از متغیرهای اقلیمی بر

سزاوینا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزایش رطوبت نسبی تا حدود ۲۵ درصد، مقدار ذرات معلق در جو افزایش می‌یابد و پس از آن، با افزایش درصد رطوبت نسبی جو به تدریج از تجمع غلظت آلاینده‌ها کاسته می‌شود زیرا در این حالت، هسته‌های متراکمی تشکیل می‌شود که احتمال ریزش آنها را افزایش می‌دهد. لذا با توجه به اینکه دامنه تغییرات رطوبت نسبی در فصل تابستان منطقه مطالعاتی، کمتر از ۱۷ درصد (شکل ۵) است و ارتباط تغییرات این پارامتر اقلیمی با شاخص توفان گردوغبار نیز مستقیم نشان داده شده است (جدول ۱) و از طرفی دامنه تغییرات رطوبت نسبی در

سرعت باد و رطوبت نسبی به ترتیب $0/03$ ، $0/34$ ، $0/08$ و $0/05$ برآورد شده است (جدول ۵). این نتایج بیانگر آن است که به ازای هر واحد افزایش در پارامترهای مذکور به ترتیب $0/03$ ، $0/34$ ، $0/08$ و $0/05$ واحد بر میزان شاخص اقلیمی توفان گردوغبار افزوده شده است. این یافته‌ها همچنین نقش حائز اهمیت سرعت متوسط بادهای سطحی منطقه مطالعاتی ($0/34$) را نسبت به سایر پارامترهای تأثیرگذار بر تغییرات این شاخص آشکار می‌کند. میزان اهمیت نسبی سه متغیر دما، حداکثر سرعت باد و رطوبت نسبی به طور متوسط $0/04$ است که در مقایسه با نقش سرعت متوسط وزش بادهای تابستانه، کمتر و غیرقابل اغماض است. به طوری که در نهایت اثرات کم و زیاد پارامترهای اقلیمی ورودی به مدل رگرسیون ریج توانسته است توجیه کننده مقدار نسبتاً قابل توجهی از شدت و فراوانی رخدادهای گردوغبار در منطقه مطالعاتی باشد (۴۶ درصد در سطح اطمینان ۹۹ درصد). بر اساس نتایج مندرج در جدول (۶) نیز کمترین ضرایب رگرسیون ریج برای چهار پارامتر بارندگی ($-0/002$)، رطوبت نسبی ($-0/003$)، دما ($-0/008$) و حداکثر سرعت وزش بادهای پاییزه ($0/03$) برآورد شده است. در مقابل، بیشترین ضریب تأثیر متعلق به سرعت متوسط وزش بادهای منطقه مطالعاتی در این فصل از بازه زمانی مورد بررسی بوده است ($0/16$). آماره ضریب تعیین نشان می‌دهد که ۳۱ درصد تغییرات شاخص مبین شدت و فراوانی رخدادهای گردوغبار (DSI) در فصل پاییز، متأثر از تغییرات متغیرهای مستقل ورودی به مدل رگرسیون ریج بوده است ($R^2 = 0/31$; $Pvalue < 0/05$). به طور کلی، مقایسه ضرایب رگرسیونی مربوط به سرعت وزش بادهای سطحی و رطوبت نسبی در فصل‌های مختلف سال نشان می‌دهد که ضریب تأثیر این پارامترهای اقلیمی در فصل‌های بهار و تابستان بیشتر از فصل‌های پاییز و زمستان بوده است. اهمیت نسبی دما و حداکثر سرعت وزش بادهای در تابستان و زمستان بیشتر از دو فصل دیگر و اهمیت نسبی بارندگی در فصل بهار و زمستان بیشتر از پاییز و تابستان بوده است. بنابراین، اگر چه مهم‌ترین

میزان فعالیت رخدادهای فصلی گردوغبار در منطقه مطالعاتی است. همانگونه که در جدول (۳) نشان داده شده است، ضرایب مربوط به سرعت متوسط و حداکثر بادهای سطحی بیشتر از سه متغیر دیگر هستند. این به معنای نقش مهم سرعت وزش بادهای زمستانه در ایجاد فرسایش بادی و افزایش غبارآلودگی هوای شهر یزد در این فصل از سال است. در واقع این نتایج بیانگر آن است که با افزایش حداکثر سرعت وزش باد و سرعت متوسط وزش بادهای سطحی به میزان یک متر بر ثانیه، شاخص DSI به ترتیب به میزان $0/18$ و $0/1$ واحد افزایش می‌یابد؛ این در حالی است که با افزایش یک میلی‌متر بارندگی تنها به اندازه $0/009$ واحد مقدار شاخص DSI کاهش می‌یابد. میزان تغییرات این شاخص به ازای هر واحد کاهش دما و رطوبت نسبی به ترتیب $0/09$ و $0/19$ در ماه‌های فصل زمستان بوده است. به طور کلی و بر اساس ضریب تعیین حاصل از بهترین مدل برازش شده رگرسیونی (مدل شماره ۱۲)، ۳۹ درصد تغییرات شاخص توفان گردوغبار تحت تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در این تحقیق بوده است. ضرایب و آماره‌های عملکرد مدل رگرسیون ریج بر اساس داده‌های ماهیانه فصل بهار (جدول ۴) نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییر رخدادهای بهار، سرعت متوسط بادهای سطحی بوده است. میزان تأثیر این عامل اقلیمی ($1/6$)، به میزان قابل توجهی بیشتر از تأثیر تغییرات بارندگی ($-0/1$)، دما ($0/07$) و رطوبت نسبی ($-0/025$) تخمین زده شده است. به عبارت دیگر با افزایش یک واحد در سرعت متوسط وزش بادهای سطحی، میزان شاخص توفان گردوغبار بهاره به اندازه $1/6$ واحد افزایش می‌یابد که در مقایسه با تأثیر سایر پارامترها، رقم قابل ملاحظه‌ای است. گرچه تأثیر سایر پارامترهای اقلیمی کمتر از سرعت وزش بادهای بهاره است اما همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر همزمان این متغیرهای اقلیمی توانسته است ۲۵ درصد تغییرات شاخص توفان گردوغبار را در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شهرستان یزد توجیه کند ($R^2 = 0/$; $P-value < 0/05$). برای فصل تابستان، ضرایب رگرسیونی مربوط به دما، سرعت متوسط باد، حداکثر

که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مدیر محترم سازمان هواشناسی استان یزد و کارشناسان بخش آمار که در تأمین داده‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش همکاری کرده‌اند، تشکر کنند.

عامل مؤثر بر تغییر شاخص توفان گردوغبار، سرعت متوسط وزش بادهای سطحی بوده است اما میزان اهمیت نسبی و ضریب تأثیر آنها بر تغییرات این شاخص، در فصل‌های مختلف سال یکسان نبوده است. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که ۲۵، ۳۹، ۴۶ و ۳۱ درصد تغییرات شاخص توفان گردوغبار در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به‌دلیل اثر متقابل پنج پارامتر اقلیمی مورد بررسی در تحقیق حاضر بوده است. به بیان دیگر، ۶۱، ۷۵، ۵۴ و ۶۹ درصد تغییرات شاخص مذکور به‌دلیل تغییر سایر ویژگی‌های اقلیمی، تغییر ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین و یا به‌دلیل فعالیت‌های انسانی بوده است

منابع مورد استفاده

- Alipour, N., T. Mesbahzadeh, H. Ahmadi, A. Malekian and M. Jafari. 2018. Synoptic analysis of drought events and its relationship with drought in Qazvin and Alborz provinces. *Journal of Geography (Regional Planning)* 8(2): 59-68.
- Amanollahi, J., S. Kaboodvandpour, S. Qhavami and B. Mohammadi. 2015. Effect of the temperature variation between Mediterranean Sea and Syrian deserts on the dust storm occurrence in the western half of Iran. *Atmospheric Research* 154: 116-125.
- Csavina, J., J. Field, O. Félix, A. Y. Corral-Avitia, A. E. Sáez and E. A. Betterton. 2014. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment* 487: 82-90.
- Donis, J., M. Kitenberga, G. Snepsts, E. Dubrovskis and A. Jansons. 2018. Factors affecting windstorm damage at the stand level in hemiboreal forests in Latvia: case study of 2005 winter storm. *Silva Fennica* 52(4): 1-8.
- Ebrahimi Khusfi, Z., A. A. Vali, M. Khosroshahi and R. Ghazavi. 2017. Investigation of the role of bed dried Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and duststorms (Case study :Isfahan province). *Iranian Range and Desert Researches* 24(1): 152-164. (In farsi).
- Eskandari, H., M. Borji, H. Khosravi and T. Mesbahzadeh. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth* 7: 905-915.
- Guan, Q., X. Sun, J. Yang, B. Pan, S. Zhao and L. Wang. 2017. Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. *Journal of Climate* 30(17): 6683-6700.
- Hoerl, A. E. and R. W. Kennard. 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics* 12: 55-67.
- Khosroshahi, M., M. T. Kashki, M. Abtahi, M. Hoseini, H. Hoseini Marandi, K. Dashtakian, M. Gholampour, F. Fakhri, M. Ghodrati, A. Khalilpour, F. Sarafraz and A. Gandomkar. 2016. Determination of Geographical Area of Desert Areas of Iran. Publication of Research Organization, Education and Extension of Agriculture, 334 p.(In Farsi).
- Munir, S. 2016. Modelling the non-linear association of particulate matter (PM 10) with meteorological parameters and other air pollutants- a case study in Makkah. *Arabian Journal of Geosciences* 9: 64.
- Namdari, S., N. Karimi, A. Sorooshian, G. Mohammadi and S. Sehatkashani. 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric Environment* 173: 265-276.
- O'Loingsigh, T., G. McTainsh, E. Tews, C. Strong, J. Leys, P. Shinkfield and N. Tapper. 2014. The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research* 12: 29-40.
- Parolari, A. J., D. Li, E. Bou-Zeid, G. G. Katul and S. Assouline. 2016. Climate, not conflict, explains extreme Middle East dust storm. *Environmental Research Letters* 11(11): 114013.
- Rashki, A., M. Arjmand and D. Kaskaoutis. 2017. Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, Southeast Iran. *Aeolian Research* 24: 145-160.

15. Rezazadeh, M., P. Irannejad and Y. Shao. 2013. Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research* 10: 103-109.
16. Taylor, K. L., J. L. Beck and S. V. Huzurbazar. 2016. Factors influencing winter mortality risk for pronghorn exposed to wind energy development. *Rangeland Ecology and Management* 69(2): 108-116.
17. Thompson, C. G., R. S. Kim, A. M. Aloe and B. J. Becker. 2017. Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology* 39: 81-90.
18. Vali, A. A. and F. Roustaei. 2017. Investigation of the wind erosion trend in central Iran using Dust Storm Index in the last fifty years. *Journal Water and Soil Science (Science and Technology. Agriculture and Natural Resources)* 21(4): 189-200. (In farsi).

Analysis of Temporal Changes of Dust Events and Determination of the Contribution of Climate Factors Affecting it in Arid Regions Based on the Ridge Regression Analysis (A Case Study: Yazd City)

Z. Ebrahimi Khusfi^{1*}

(Received: April 9-2019; Accepted: July 14-2019)

Abstract

The purpose of this study was to analyze the temporal variations of dust phenomenon and its relationship with the climatic elements in Yazd city, located near one of the critical centers of dust production in the center of Iran. For this purpose, the Dust Storm Index was first calculated. After the standardization of precipitation, temperature, maximum wind speed, average wind speed, relative humidity and, dust storm index, the co-linearity effect between variables was calculated by using inflation variance factor. Then, several regression models were prepared based on the optimal Ridge parameter. The performance of the models was evaluated based on the determination coefficient, F value and Root Mean Square Error. Finally, by using the most accurate model, the impact of climate parameters on the dust events changes was determined. The results showed that the incidence of dust events in the spring was more than the rest of the year. Based on the optimal model (Model 12), it was found that the main factor influencing the dust storm index variations in different seasons was the surface winds speed. It was also shown that 39%, 25%, 46% and 31% of dust storm index changes in winter, spring, summer, and autumn were due to the interaction of the five climatic parameters studied in this study.

Keywords: Climate Change; Dust Storm Index; Ridge Regression; Arid Region; Yazd

1. Department of Natural Science, College of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

*: Corresponding author, Email: zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir